

FONTES DE DISTORÇÕES DA REDE GEODÉSICA BRASILEIRA

Distortions sources in the Brazilian geodetic network

JOÃO CARLOS CHAVES¹
MARCELO CARVALHO DOS SANTOS²
FELIPE GEREMIA NIEVINSKI²
MICHAEL R. CRAYMER³

¹Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho” – UNESP

²University of New Brunswick – UNB

³Geodetic Survey Division of Natural Resources Canada – GSD

jcchaves@fct.unesp.br;msantos@unb.ca;f.nievinski@unb.ca;craymer@nrcan.gc.ca

RESUMO

A Rede Geodésica Brasileira (RGB) começou a ser implantada no início da década de 40, com base nos métodos geodésicos de triangulação e poligonação, atualmente designados como métodos clássicos de levantamento. Com o surgimento do posicionamento por satélites artificiais, tais como TRANSIT e GPS, adensou-se a respectiva rede. Ajustamentos realizados envolvendo estes diferentes métodos de posicionamento evidenciaram as distorções na RGB, levando deste modo à necessidade de se entender melhor tais inconsistências. Este trabalho tem por finalidade realizar estudos de caso para auxiliar a análise e a interpretação de distorções na rede planimétrica brasileira. Para este estudo, utilizou-se o programa GHOST, o mesmo usado no ajustamento da RGB. Em cada caso, removeu-se um tipo de observação – azimutes astronômicos (estações de Laplace), linhas de base invar, pontos Doppler – e repetiu-se o ajustamento da rede. Com isso foi possível avaliar a contribuição ou importância de cada tipo de observação para a rigidez da rede. Ou seja, foi possível responder a seguinte pergunta: “Quanto maior seria a distorção da rede clássica se estes tipos de observação estivessem ausentes ou fossem ponderados diferentemente?”. Resultados destes estudos de caso indicam que as maiores distorções horizontais na rede geodésica brasileira existiriam se não houvessem estações de Laplace, ou seja, com a remoção dos azimutes astronômicos. Neste caso, as distorções horizontais atingiriam valores de até 4,5 m. Menores distorções horizontais ocorreriam com a inexistência das bases de invar, e com reponderamento das estações de Laplace ou se pontos de controle Doppler fossem inexistentes, nesta ordem.

Palavras-chave: Rede Geodésica Brasileira; Distorção; Ajustamento; Sistema Geodésico Brasileiro.

ABSTRACT

The Brazilian Geodetic Network started to be established in the early 40's, employing classical surveying methods, such as triangulation and trilateration. With the introduction of satellite positioning systems, such as TRANSIT and GPS, that network was densified. That data was adjusted by employing a variety of methods, yielding distortions in the network that need to be understood. In this work, we analyze and interpret study cases in an attempt to understand the distortions in the Brazilian network. For each case, we performed the network adjustment employing the GHOST software suite. The results show that the distortion is least sensitive to the removal of invar baselines in the classical network. The network would be more affected by the inexistence of Laplace stations and Doppler control points, with differences up to 4.5 m.

Key words: Distortion; Adjustment; Brazilian Geodetic Network; GPS.

1. INTRODUÇÃO

A década de 40 presenciou o começo de uma nova era na geodésia brasileira com o início do estabelecimento da rede planimétrica do Sistema Geodésico Brasileiro (SGB). Os melhores métodos de posicionamento geodésico têm sido empregados deste então. Até meados da década de 90 foram usados os hoje comumente chamados “métodos clássicos” de posicionamento geodésico, triangulação e poligonação. O posicionamento por satélites artificiais foi introduzido em 1973, com o uso do sistema TRANSIT (Wells, 1974; *Costa & Lima*, 2005) até 1991, e, com o Sistema de Posicionamento Global (*Global Positioning System* – GPS) desde 1991.

A rede planimétrica foi ajustada diversas vezes (*Costa & Fortes*, 1993). O primeiro ajustamento se deu pelo método dos correlatos, adotando-se o Sistema Geodésico Córrego Alegre como referência. Um segundo processo de ajustamento ocorreu em duas etapas: inicialmente, pelo método de variação de coordenadas, adotando-se o SAD69 (*South American Datum 69*) como referência, com o programa HAVOC (*Horizontal Adjustment by Variation Of Coordinates*); e, posteriormente, com o sistema USHER (*Users System for Horizontal Evaluation and Reduction*), fazendo uso da técnica *piece-meal*. De acordo com *Costa* (2000a) esta técnica foi aplicada na integração dos novos levantamentos e não é recomendável, pois as coordenadas das estações previamente existentes são consideradas fixas, gerando distorções na rede. Segundo *Costa* (2000b) este procedimento de densificação da rede planimétrica foi uma das causas do acúmulo de distorções geométricas (escala e orientação); além de outros fatores, tais como a não redução das observações geodésicas ao elipsóide, o uso de mapas geoidais pouco precisos, e a diversidade de instrumentos e métodos. Em meados da década

de 90, tornava-se evidente a necessidade de um novo ajustamento de caráter global, integrando-se observações GPS visando reduzir as inconsistências encontradas na rede (Costa & Pereira, 1994).

Em 1996, a rede geodésica foi reajustada com a técnica de *Helmert Blocking*, disponível no programa computacional GHOST (*Geodetic Adjustment using Helmert Blocking of Space and Terrestrial data*). Este programa permite o ajustamento simultâneo das observações de redes clássicas e espaciais, ou seja, uma grande quantidade de dados, além de utilizar um modelo matemático tridimensional com altitudes fixas, possibilitando a inclusão das observações Doppler e GPS (Costa & Pereira, 1994; IBGE, 1996; Costa & Lima, 2005). O programa GHOST permite que o ajustamento da Rede Geodésica Brasileira (RGB) seja feito agregando-se todas as observações disponíveis ou dividindo-as em vários blocos, além de possibilitar a remoção ou reponderação de observações geodésicas. Esta última realização do SAD69 tem sido referida por SAD69/96 para se distinguir do SAD69 original.

Em 2005, a RGB adotou um referencial de concepção geocêntrica, o SIRGAS2000, usando novamente o programa GHOST. Este ajustamento foi feito tendo como junções as estações e pontos GPS ocupados na campanha que implementou a segunda realização do SIRGAS (SIRGAS, 2002). Durante o período no qual o ajustamento estava sendo realizado, o Projeto Infra-estrutura Geoespacial Nacional (PIGN) promoveu um Workshop sobre a Integração da RGB ao SIRGAS2000 (PIGN, 2007). Durante este evento, realizado no Rio de Janeiro, em 2005, foi proposta a investigação de estudos de caso para fins de análise e interpretação dos resultados do ajustamento e das distorções da rede planimétrica. Neste artigo são apresentados alguns resultados destes estudos.

2. DISTORÇÕES EM REDES GEODÉSICAS

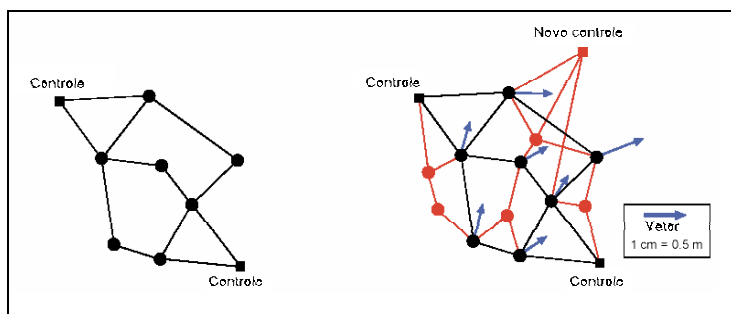
O processo de transformar as coordenadas de pontos entre diferentes realizações de referenciais geodésicos, deve permitir ao usuário uma solução exata e de maneira simplificada. Neste processo, o problema torna-se mais complexo quando existem distorções e, portanto, as mesmas devem ser modeladas.

O conceito de distorção pode ser mais facilmente entendido com base na análise das coordenadas de pontos comuns, determinadas em épocas distintas, e com relação a pontos de controle. Havendo discrepâncias entre as mesmas, significa que a estrutura (rede) de pontos sofre uma distorção (mudança na forma/configuração original). Estas distorções ocorrem quando existem alterações na geometria dos pontos que constituem a estrutura analisada, provocadas por deformações e deslocamentos ou simplesmente oriunda da qualidade das observações envolvidas. O primeiro caso se refere a uma distorção real ou física, seu tratamento sendo geralmente referido como modelagem (ou controle) de deformações; o segundo caso se refere a uma distorção abstrata ou matemática, seu tratamento sendo mais especificamente chamado de modelagem de distorções

(Santos, 1999). Neste último caso, trata-se de um movimento fictício oriundo do acréscimo ou retirada de observações, da incerteza associada às observações, ou, dos modelos usados no ajustamento.

Collier (2002) discute esta distinção entre distorção e deformação. Considere, na Figura 1, em um momento inicial, uma rede geodésica com dois pontos de controle e mais sete pontos que a integram. A mesma rede, num momento posterior, é adensada com novos pontos e mais um de controle. Após o reajustamento desta rede, os vetores deslocamentos resultantes das novas coordenadas dos sete pontos que integram a rede antiga são representados na mesma figura. As discrepâncias de coordenadas representam a distorção da antiga rede com relação à nova. A distorção gerada é proveniente do adensamento da rede (distorção matemática) ou dos movimentos reais dos pontos que podem ter ocorrido (distorção física ou deformação) ou por ambos. Collier (2002) ressalta que a existência de distorção pode independer da mudança de referencial, ou seja, é possível existir distorção dentro de um mesmo referencial. No caso de que trata este estudo, se lida apenas com as distorções matemáticas.

Figura 1 – Conceito de distorção.



FONTE: Adaptado de Collier, 2002.

A distorção matemática (doravante chamada apenas de distorção) pode ser definida como sendo a quantidade que resta após algum tipo de parametrização ter sido aplicada, sendo deste modo uma quantidade que guarda algum tipo de relação com os resíduos de um ajustamento, dependendo da parametrização (modelo determinístico) empregada. Um vetor distorção \underline{d} pode ser representado matematicamente como:

$$\underline{d} = \underline{X} - (T \underline{X}'), \quad (1)$$

onde \underline{X} representa as coordenadas de um referencial de destino, \underline{X}' as coordenadas do referencial de origem e T o modelo de transformação entre os dois referenciais,

por exemplo, similaridade. Quando o vetor \underline{d} é ignorado o problema se resume apenas a uma modelagem entre referenciais que pode ser representada por um conjunto de parâmetros, por exemplo, translação e rotação. Quando o vetor \underline{d} for levado em consideração, uma nova modelagem deve ser empregada. A distorção pode não ser totalmente modelada, ou seja, poderá existir um resíduo na modelagem da distorção, devido à limitação do novo modelo ou à própria incerteza das coordenadas.

As distorções entre referenciais são de natureza relativa, ou seja, estabelece-se que ela seja de um referencial (geralmente realizado com observações de menor qualidade) com respeito a um outro (realizado com observações de maior qualidade). As distorções entre SAD69 e SAD69 (realização 1996) podem chegar a 15 metros (Costa, 2000b). Entre SAD69 e SIRGAS, além do fato de que suas origens serem diferentes, ainda assim existem distorções que surgem ao se comparar as coordenadas dos vértices que compõem o SGB, em SIRGAS e em SAD69. Os diferentes métodos de observação usados foram, além de linhas de base GPS, predominantemente poligonização e triangulação, acrescentando-se pontos determinados com o sistema TRANSIT, doravante referidos simplesmente por pontos Doppler, e controles terrestres (linhas de base determinadas por fita de invar) e astronômicos (azimutes de Laplace). O efeito que a inclusão destes controles Doppler, bases invar e azimutes provocam em geral é benigno, a ponto de se imaginar que quanto mais pontos de controle, melhor. Mas, o quanto maior seria a distorção da rede clássica se estes controles estivessem ausentes ou fossem ponderados diferentemente?

3. ESTUDOS DE CASO

O Projeto Infra-estrutura Geoespacial Nacional promoveu em novembro de 2005, no Rio de Janeiro, um Seminário sobre a Integração da rede clássica ao SIRGAS2000. Durante este evento, alguns estudos de casos foram propostos para serem investigados de modo a se avaliar o efeito dos diversos controles adotados, comparando-se o ajustamento final, que inclui todos os controles, com ajustamentos particularmente feitos alterando-se o controle a ser investigado. Os estudos de caso se constituem em analisar os efeitos de:

- a) remover as bases com fita de invar;
- b) reponderar os azimutes astronômicos;
- c) remover os azimutes astronômicos;
- d) especificar mais do que apenas translações no tratamento dos pontos Doppler;
- e) remover os pontos Doppler.

Para a realização destes estudos, é necessário primeiramente que se obtenham as coordenadas das estações contidas na rede planimétrica do SGB no SIRGAS2000. A partir delas, necessita-se conhecer as coordenadas das estações nas realizações envolvidas nos itens de (a) a (e) a serem analisados nos estudos propostos.

Os dados disponibilizados pelo IBGE para a realização destes estudos de caso foram processados no GHOST, gerando arquivos com coordenadas geodésicas curvilíneas e cartesianas, para 6190 estações. As coordenadas ajustadas no SIRGAS2000 são comparadas com as coordenadas das diferentes realizações. Os resultados são analisados com base no programa COMPOS disponível entre os vários utilitários do GHOST. As coordenadas ajustadas obtidas dos ajustes (antigo e novo) proporcionam o cálculo da distorção relativa entre as respectivas coordenadas.

Um primeiro processamento realizado foi similar ao do IBGE, ou seja, com método de *Helmert Blocking*, para verificar se os resultados são compatíveis e os procedimentos de cálculos idênticos. Os resultados obtidos com este processamento similar ao do IBGE são apresentados na Tabela 1.

Tabela 1 – Distorções obtidas em processamento similar ao do IBGE.

	Componente Horizontal (m)	Componente Vertical (m)
Média	0,000	00,002
Máximo	0,000	10,490
Desvio padrão	0,000	00,133

As coordenadas ajustadas horizontais são idênticas às do IBGE, em virtude da grandeza numérica associada aos valores máximo, mínimo, média e desvio padrão ser nula. A distorção fornecida pelo COMPOS do total de 6221 estações, tem-se que 6190 estações comuns entre os dois ajustamentos apresentam distorção nula na componente horizontal; enquanto para a componente vertical, o valor máximo obtido entre as 6180 estações foi de 10,49 m. A seguir, são apresentados e discutidos os diversos estudos de caso.

3.1 Remoção das bases de invar

No estudo de caso que trata da remoção das bases de invar, foram retiradas 60 bases. O efeito da remoção destas bases variou entre -0,523 m a +0,539 m em latitude, e entre -0,295 m a +0,867 m em longitude.

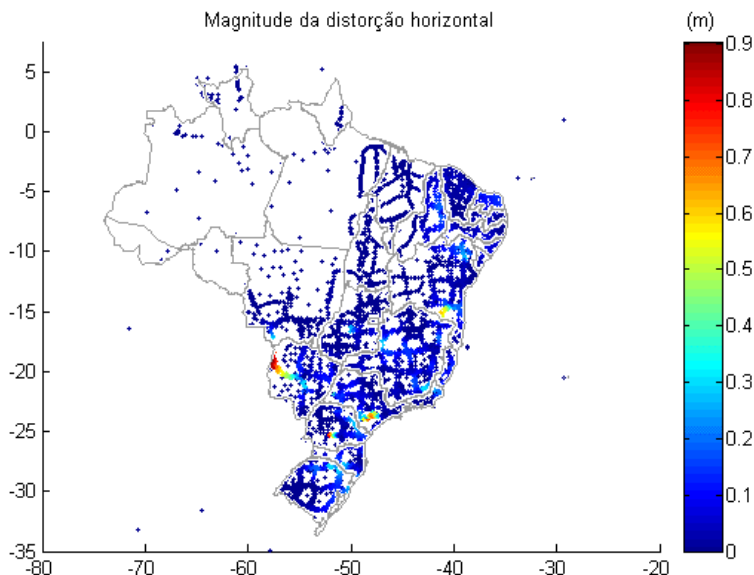
As maiores distorções ocorrem no sul da Bahia (0,6 m), em São Paulo e Paraná (entre 0,6 m a 0,8 m) e no Mato Grosso do Sul (0,9 m). No restante da rede a distorção é bastante pequena, entre -0,052 m a +0,054m para a latitude e entre -0,058 m e +0,058 m para a longitude, senão inexistente.

Alguns dos efeitos da remoção das bases de invar são verificados nas componentes latitude e longitude, pois tendem a se cancelar quando propagados na componente horizontal. Com isto, pode-se verificar que os efeitos das bases de invar são localizados (distorções, em geral, nulas), não se propagando em demasia

para a rede como um todo. Esta constatação é interessante, pois estas bases são empregadas com a finalidade de realizar um controle de escala.

A distorção horizontal (ver Figura 2) obtida neste estudo de caso tem valor médio igual a 0,049 m, valor máximo de 0,904 m e desvio padrão de 0,089 m.

Figura 2 – Distorção horizontal para remoção de bases de invar.



3.2 Reponderação dos azimutes astronômicos

Neste estudo de caso, o valor de desvio padrão utilizado para reponderar os 394 azimutes de Laplace foi de 1,14036 (valor utilizado nos testes realizados no Workshop do Rio de Janeiro em 2005). O valor original foi de 0,20626. Estes azimutes se encontram espalhados ao longo da RGB.

O efeito de reponderar os azimutes astronômicos varia entre -1,061 m a +2,294 m em latitude, e entre -2,822 m a +1,638 m em longitude.

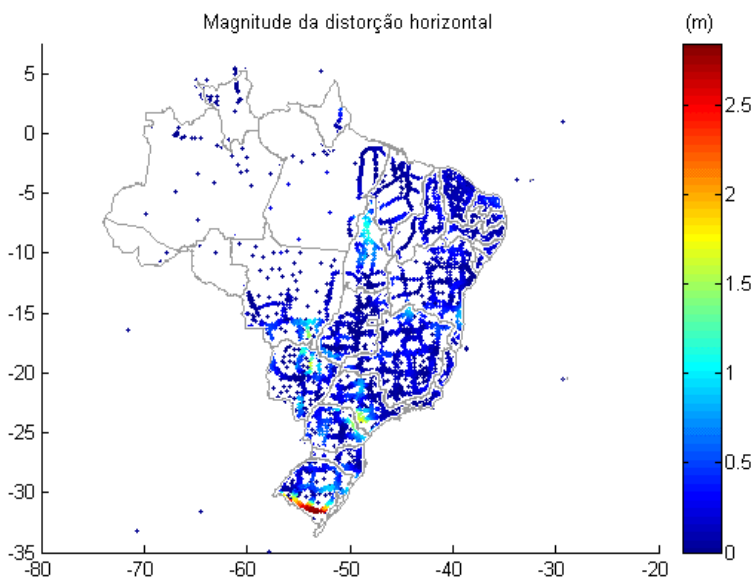
Distorções de até um (1) metro ocorrem no litoral sul da Bahia, norte de Minas Gerais, norte de Araguaia, centro-sul de São Paulo, sul do Mato Grosso, norte e sul do Mato Grosso do Sul, norte e leste do Paraná. No sul do Rio Grande do Sul chegam a atingir 2,5 m. No restante da rede a distorção é bastante pequena, entre -0,166 m e +0,168 m em latitude, e entre -0,222 m e +0,223 m em longitude.

Estes efeitos, já verificados nas componentes latitude e longitude, tendem a se ampliar quando propagados na componente horizontal. Com isto, pode-se verificar

que os efeitos dos azimutes astronômicos são mais generalizados (i.e., menos localizados), não apenas pelo fato de existir uma maior área de cobertura dos pontos de Laplace ao longo da rede, como também pelo fato de que as técnicas clássicas usadas dependem da medição de ângulos. A reponderação dos azimutes se faz sentir em virtude de valores obtidos alcançando 2,5 m.

A componente horizontal, ilustrada na Figura 3, tem distorção com valor médio de 0,227 m, valor máximo de 2,842 m e desvio padrão de 0,321 m.

Figura 3 – Distorção horizontal para reponderação de azimutes.



3.3 Remoção dos azimutes astronômicos

A totalidade dos 394 azimutes astronômicos ou pontos de Laplace contidos na RGB foi retirada pura e simplesmente neste estudo de caso. Assim, a orientação do elipsóide fica determinada apenas pelo vértice de origem da rede. O efeito de remover os azimutes astronômicos varia entre -3,576 m a +3,959 m em latitude, e entre -4,549 m a +2,457 m em longitude. A estrutura das distorções é semelhante a da reponderação dos azimutes, uma vez trata-se das mesmas observações, apenas com magnitude maior, em virtude da remoção ser uma alteração mais drástica do que a reponderação.

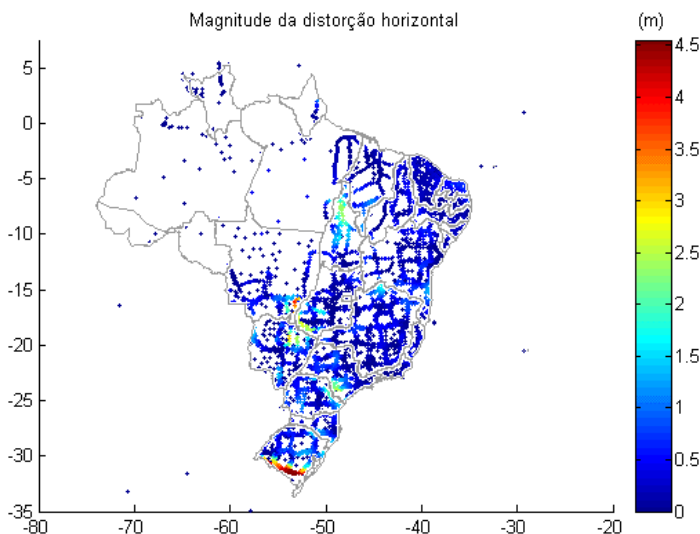
Distorções de até dois (2) metros ocorrem no litoral sul da Bahia, norte de Minas Gerais, norte de Araguaia, centro-sul de São Paulo, sul do Mato Grosso,

norte e sul do Mato Grosso do Sul, norte e leste do Paraná. No sul do Rio Grande do Sul atingem 4,5 m. Observa-se que no sudeste do Mato Grosso surgem distorções de até 4 m que não haviam surgido quando do estudo de caso de reponderação de azimutes. No restante da rede a distorção é bastante pequena, entre -0,375 m e +0,377 m em latitude, e entre -0,350 m e +0,350 m em longitude. Comentário semelhante ao do estudo de caso anterior pode ser feito aqui. A importância dos pontos de Laplace para as técnicas clássicas é indicada através da grande magnitude das distorções; eles permitem um controle da orientação do elipsóide, minimizando as distorções.

A distorção obtida na componente horizontal, como ilustra a Figura 4, tem valor médio de 0,387 m, valor máximo de 4,552 m e desvio padrão de 0,554 m.

Para se poder aprofundar a discussão seria necessário olhar o efeito da retirada dos pontos de Laplace ao nível das cadeias geodésicas, algo como um “zoom”, ao longo dos meridianos e paralelos. Neste caso, poder-se-ia verificar o quanto em orientação os pontos de Laplace controlaram as componentes latitude e longitude. O mesmo pode ser dito para o controle da escala nos pontos Doppler.

Figura 4 – Distorção horizontal para remoção de azimutes.



3.4 Mais graus de liberdade no tratamento dos pontos DOPPLER.

Um total de 177 pontos Doppler foi incorporado à rede geodésica, no intuito de se reforçar a escala. Estes pontos foram tratados como um parâmetro de escala,

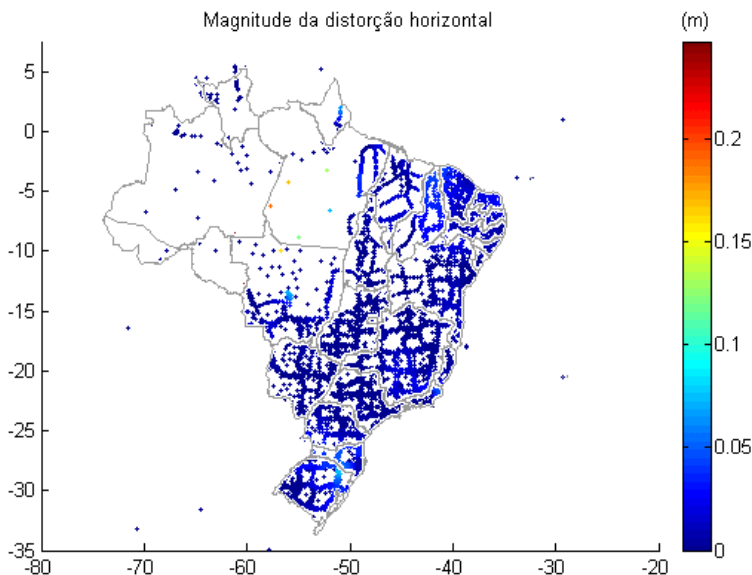
além dos de translações já constantes na RGB. Portanto, ao se especificar escala, além das 3 translações, surgiram efeitos que variaram entre $-0,078$ m a $+0,113$ m para a componente latitude, e entre $-0,247$ m a $+0,028$ m para a componente longitude. A inclusão de escala não provoca grande efeito (máximo de $0,2$ m), considerando-se a precisão relativa da rede clássica entre 10 e 1 ppm.

A latitude possui um comportamento positivo (ao norte) e negativo ao sul, separados por zonas sem distorção (paralelo 15°). A componente longitude possui distorções predominantemente negativas ($-0,013$ m).

Na componente horizontal, verifica-se que as maiores distorções ($0,2$ m) ocorrem na Amazônia, que é o local onde a maior parte destes controles Doppler foi utilizada.

A Figura 5 ilustra a distorção na componente horizontal, tendo como valor médio $0,009$ m, valor máximo de $0,248$ m e desvio padrão de $0,014$ m.

Figura 5 – Distorção horizontal para inserção de escala DOPPLER.



3.5 Remoção dos pontos Doppler

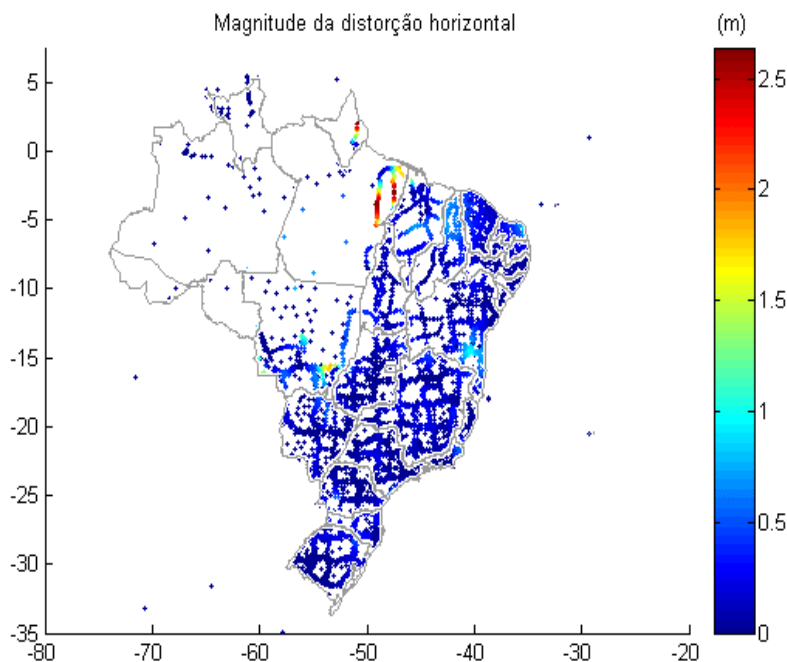
Neste estudo de caso, todos os 177 pontos Doppler foram retirados. As distorções que surgiram variaram entre $-2,128$ m a $+2,306$ m para a componente latitude, e entre $-2,377$ m a $+2,517$ m para a componente longitude. O efeito de não se utilizar estes 177 pontos Doppler para controlar a escala da rede causam

distorções notáveis. O padrão de distorção é semelhante ao do estudo de caso anterior, porém com magnitude bastante amplificada, p. ex., atingindo 2,5 m na componente horizontal.

Há distorção em latitude ao longo de toda a rede. A componente longitude passa a ter distorções ampliadas (≈ 2 m), tanto positivas quanto negativas, e a componente horizontal permite que se verifique a importância que este controle de escala é imprescindível no Amapá e no leste do Pará, em virtude do aumento da distorção de 0,05 m para 2 m, além de Mato Grosso, Maranhão, Piauí e Bahia. O controle Doppler evidencia-se como algo bastante importante, em decorrência da ampliação da distorção causada pela remoção dos respectivos pontos.

Para a componente horizontal, o valor máximo obtido, conforme Figura 6, é de 2,639 m, valor médio de 0,179 m e desvio padrão de 0,306 m.

Figura 6 – Distorção horizontal para remoção DOPPLER.



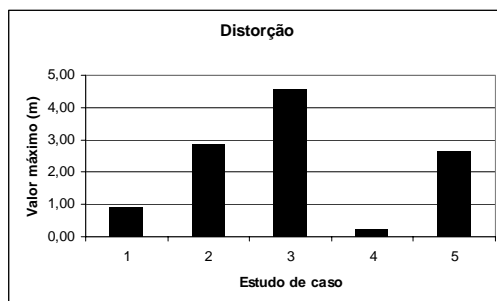
4. CONCLUSÕES

As distorções obtidas em cada estudo de caso são resumidas na Tabela 2, que contém os valores médio, máximo e desvio padrão das distorções horizontais. A Figura 7 ilustra o valor máximo da distorção para cada caso realizado.

Tabela 2 – Distorções horizontais obtidas nos estudos de caso.

Estudo de caso		Distorção horizontal (m)		
		Média	Máxima	Desvio Padrão
a	Remoção das bases de invar	0,050	0,904	0,089
b	Reponderação dos azimutes	0,227	2,842	0,321
c	Remoção dos azimutes	0,387	4,552	0,554
d	Parâmetro de escala Doppler	0,009	0,248	0,011
e	Remoção de pontos Doppler	0,179	2,639	0,306

Figura 7 – Valor máximo da distorção em cada estudo de caso.



O presente estudo apresenta resultados que tornam evidente o efeito que diferentes tipos de controle aplicados à rede clássica do sistema geodésico brasileiro possuem. Em ordem de importância, verifica-se que as estações de Laplace, para controle de azimute, e as estações Doppler, para controle de escala, têm um papel muito importante. A inexistência dos 394 pontos de Laplace acarretaria em distorções de até 4,5 m. A inexistência dos 177 pontos de controle Doppler provocaria distorções na rede clássica de até 2,5 m. Efeitos menores são decorrentes de variações na distorção horizontal, para os estudos envolvendo a remoção das bases de invar, e emprego de um parâmetro adicional no tratamento dos pontos Doppler.

O papel de controle das estações de Laplace e dos pontos Doppler fica ressaltado. Sem este estudo, não se saberia que distorções de até 4,5 m foram evitadas. Assim, torna-se interessante especular sobre que critérios foram utilizados para a implantação destes controles, se o número de controles é o ideal, e sobre o quanto melhor a Rede Geodésica Brasileira seria se um maior número de controles

fosse implementado. Aliás, com o SIRGAS2000, a rede clássica passa a ser histórica, e o georreferenciamento se faz melhor neste Sistema, deixando no esquecimento outros referencias (Córrego Alegre e SAD69). O fato é que os critérios para a implantação destes controles foram adotados com o intuito de realizar o que era viável na época. O número ideal seria certamente muito maior, proporcionando ganhos à rede geodésica como um todo, se mais pontos existissem. Porém, a realidade é que nunca se sabe o quanto melhor a rede seria se mais estações de Laplace e pontos Doppler existissem.

5. AGRADECIMENTOS

O presente trabalho foi realizado com o apoio do Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico – CNPq, durante o Pós-Doutorado no Exterior (PDE), junto ao *Department of Geodesy and Geomatics Engineering*, na *University of New Brunswick* (UNB), Canadá, no período de agosto/2005 a fevereiro/2006. Faz-se necessário, também, agradecer ao Projeto Infra-estrutura Geospacial Nacional (PIGN) coordenado pela UNB e pelo IBGE, com patrocínio da Agência Canadense para o Desenvolvimento Internacional (*Canadian International Development Agency – CIDA*), através de um convênio com a Agência Brasileira de Cooperação (ABC). Finalmente, agradecer ao IBGE pela cessão dos dados da rede clássica que permitiram a efetivação deste estudo.

6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- COLLIER, P.A. *Development of Australia's National GDA94 Transformation Grids*. Consultant's Report to the Intergovernmental Committee on Surveying and Mapping, Victoria. February, 2002, 34p.
- COSTA, S.M.A. Evolução do Sistema Geodésico Brasileiro – razões e impactos com a mudança do referencial. In: *Seminário sobre Referencial Geocêntrico no Brasil, I*. Rio de Janeiro, 2000a, 9p.
- COSTA, S.M.A. Solução na compatibilização de diferentes materializações de sistemas de referência. In: *Seminário sobre Referencial Geocêntrico no Brasil, II*. Rio de Janeiro, 2000b, 11p.
- COSTA, S.M.A.; FORTES, L.P.S. Resultados preliminares do ajustamento da rede planimétrica do sistema geodésico brasileiro. In: *Congresso Brasileiro de Cartografia, XVI*. Rio de Janeiro, 1993, 6p.
- COSTA, S.M.A.; PEREIRA, K.D. Processamento da rede GPS brasileira e ajustamento combinado com a rede clássica. In: *Reunião da Assoc. Argentina de Geodesia e Geofísica, 18ª*. La Plata, Argentina, 1994, 14p.
- COSTA, S.M.A.; LIMA, M.A.A. Ajustamento da rede planimétrica brasileira em SIRGAS2000. In: *Colóquio Brasileiro de Ciências Geodésicas, IV*. Curitiba, 2005, 5p.

IBGE. *Ajustamento da Rede Planimétrica do Sistema Geodésico Brasileiro – Relatório*. Rio de Janeiro, 1996, 95p.

PIGN. *Projeto da Infra-estrutura Geoespacial Nacional*. Acessado em <http://www.pign.org>, 2007.

SIRGAS. *Newsletter No. 6*, fevereiro. Acessado em http://www.dgfi.badw.de/dgfi/SIRGAS/SIRGAS_Bul6.pdf, 2002, 37p.

SANTOS, M.C. *Estabilidade das Estruturas Geodésicas*. Departamento de Geomática, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, PR, 1999, 79 p.

WELLS, D.E. (1974). *Doppler Satellite Control*, Technical Report no. 29 Department of Geodesy and Geomatics Engineering, University of New Brunswick.

(Recebido em Janeiro/08. Aceito em maio/08).